筑波大学技術報告
24: 81-85, 2004

ドライポンプのヘリウムタイト改良

○近藤裕、宮内幹雄、敦賀将太
筑波大学　人文・数理等教育研究支援室（低温センター）
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

安価な空気用ドライポンプに気密性を高める改造を施すとヘリウムガス回収用送風機として使えるようになることがわかった。

１．はじめに

電気やガス、水道と同じように液化ヘリウムは極低温の研究と教育に欠かすことのできないものであるが、ヘリウムは大気中に殆ど含まれておらず、我が国に地下資源が無いため専ら米国からの輸入に頼っている。本学は資源の有効利用と経費の節約を目的に低温センターを中心とするリサイクルシステムを開学時に導入し、機器を更新しつつ今日に至るまで円滑に運用してきた。その概略を図１に示す。低温センターで液化されたヘリウムは小型容器で各研究室に供給され低温実験に用いられる。蒸発したヘリウムは各建物にあるサブセンターと呼ばれる設備のガスバッグに一時的に蓄えられ、後に共同溝にある回収配管を経由して送風機で低温センターに戻され、再び液化・供給される。ヘリウムガス回収用送風機にヘリウムガスの漏れがあってはならず、回収ガスに油蒸気が混入するのを避ける必要があるためヘリウムタイト型と呼ばれるヘリウムの気密性が保証されているもののうちで特に無給油式のものが用いられてきた。

図１に示すリサイクルシステムの送風機の吸入圧と吐出圧は共に殆ど１気圧であるが、上記の２つの条件に加えて要求される３０ｍ^3／ｈ程度の風量を満足するものは値段が高く納期が長いため安価で入手容易な代替品の開発が望まれている。そこでヘリウムタイト以外は全ての条件を満たす空気用ドライポンプをヘリウムガス回収用送風機として用いるとどのような問題が発生するか、そしてどのような対策をすれば問題なく使えるようになるか調べることを研究の目的とした。

２．ドライポンプの構造と漏れの防止

図２に本研究に用いたオリオン機械株式会社製ドライポンプＫＲＸ６の構成図[1] を、図３にドライポンプの模式図を示す。モーターに直結された偏芯軸ロータがシリンダ内を回転するとロータに設けられた４本の溝からカーボンのブレードが飛び出し、シリンダとブレード、ロータの間に閉じた空間ができる。吸入口からその空間に引き込まれたガスはロータの回転と共に吐出口へと送り出される。すなわち、このポンプの構造は回転翼型真空ポンプから油を抜いたものにほぼ等しい。

モーターの回転数は 1450rpm(三相 200V、50Hz)で、設計風量は 34.5m^3/ｈ(同)である。

②低温実験

①低温センター

③ガスバッグ

④送風機
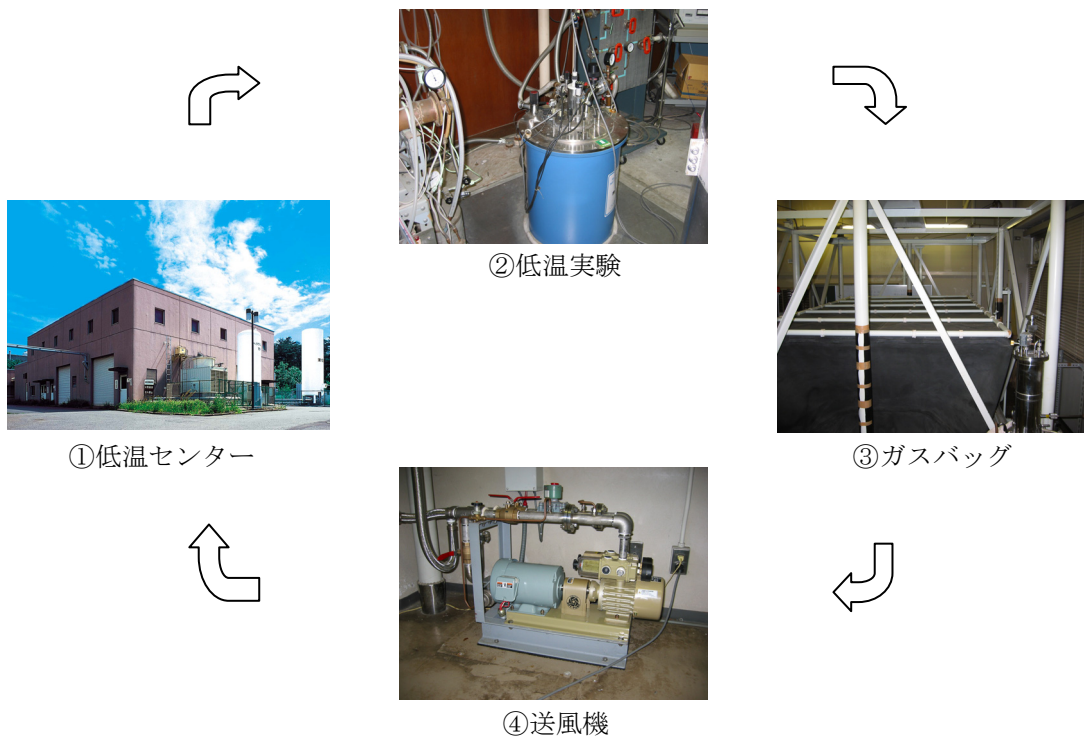
図１．ヘリウムの流れ
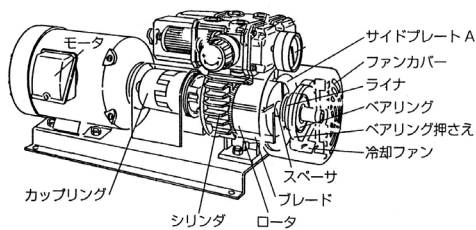
図２．オリオンドライポンプ構成図
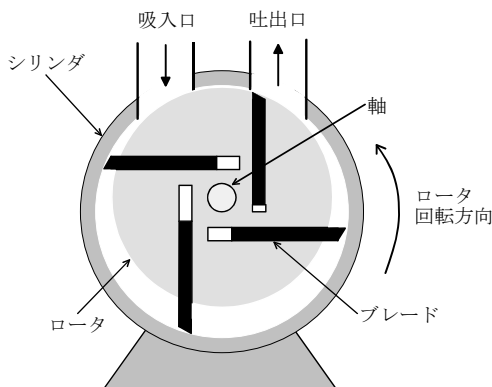
図３．ドライポンプの模式図

このポンプは空気用のため送風性能に影響を与える吸入口と吐出口周辺以外の気密性は殆ど考慮されていないようで、ヘリウムガスでテストを行ったところ小型ヘリウムガス漏れ検知器(BOC Edwards 社製ガスチェック 3000)で測定可能な最大漏れレートである１x１０$^{-1}$ml/sec を大きく上回る漏れが軸受部から見つかった。このままではヘリウムガス回収用には漏れが多すぎるので漏れの場所を特定して対策を検討するためにドライポンプを分解した。使われていた軸受は深溝玉軸受非接触シールド型ベアリング(6205ZZ)であった。非接触シールド型(ZZ 型)とは金属のシールド板を外輪に固定し、内輪シール面に設けられた V 字溝との間でラビリンスすきまを形成して異物の侵入を防ぐものであり、このすきまを通ってヘリウムガスが多量に漏洩していることがわかった。内輪と軸は締まりばめになっていたが、直径５２mm の外輪とハウジングとの間は半径で約 0.01mm のすきまがあるすきまばめで、ここも漏れの発生源になっていた。

ヘリウムガス回収用送風機として使うには内外輪間および外輪とハウジングの間を気密にする必要があるので 6205ZZ の代わりに図４に示す NTN 株式会社製ＡＣ軸受け接触シール型ベアリング(6205LLU)を検討した。図５にその断面図[2]を示す。接触シール型(LLU 型)とは鋼板に合成ゴムを固着したシール板を外輪に固定し、シールの先端が内輪シール面の V 字溝側面に接触しているもので防塵性のみならず防水性にも優れている。気密性までは考えられていないが使用される吸入圧と吐出圧から内外輪間の漏れが止まることが期待できる。LLU 型は合成ゴムが V 字溝側面を摺動しているため ZZ 型と比べて回転速度と使用温度に対する制限は厳しいが、6205LLU の許容回転速度は 8900rpm で[3]モーターの回転数を約６倍も上回っていること、そして運転時間が１回約３０分間、１日あたり多くて５回程度の間けつ運転であることから温度上昇が少なく比較的長期間の使用に耐える可能性がある。LLU 型はベアリングの両側が接触シールされていて、シールされた内側のボール周辺に潤滑用グリスが塗布されている。したがって全くのオイルフリーとは言い難いが接触シールされていることもあり実用上問題ないと判断した。

ＡＣ軸受とは、主要寸法は通常のベアリングと同じで外輪外径に２本の溝を設けＯリングを装着したものである[4]。これらは外輪とハウジングがすきまばめのときＯリングですきまを埋めて共回りとクリープを防止するものだが、外輪とハウジングの間からの漏れを防止できると考えた。

上記の検討結果から、このドライポンプの軸受けを AC6205LLU にすればヘリウムガス回収に使えるようになる可能性が高いので実際に交換して検証することにした。

図４．AC 軸受接触シール型ベアリング
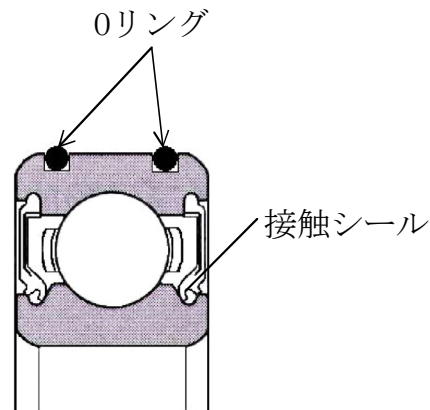
図５．ＡＣ軸受け接触シール型ベアリング断面図

３．作業方法

次にベアリングの交換手順について説明する。取り外し手順は以下の通りである。ドライポンプをベースから取り外す(図６)。ファンカバー、冷却ファンを取り外す(図７，８)。ベアリング押さえを外すとベアリングが見える(図９)。ベアリング押さえには紙のスペーサーが組み込まれている。これはドライポンプの温度が上昇してロータが熱膨張しても適切な位置を維持させる役割があるので無くしたり組み合わせを変えたりしてはならない。サイドプレートＡとシリンダの接合ボルトを取り外し、シリンダからサイドプレートＡを離す。シールを兼ねた接着剤で接合されているので３カ所の爪に棒などを当て均等に叩いて離す(図１０，１１)。サイドプレートＡのハウジングにギヤプーラーをかけハウジングと共にベアリングを軸から外す(図１２)。ハウジングからベアリ

ングとライナを抜き取る(図１３)。ハウジングに対してベアリングはすきまばめであるから手で引っ張れば抜ける。ロータ内のカーボンのブレード４枚を取り出す(図１４)。モーター側のベアリングを取り出すには、軸のカップリングのイモねじを緩め取り外し、ベアリング押さえを外す。ハウジングにギヤプーラーをかけ、ロータと一体になっている軸をギヤプーラーのネジで押すとロータを取り出すことができる(図１５)。シリンダのモーター側にあるサイドプレートは外す必要はない。最後にベアリングをハウジングから抜き出し、分解は終了する。図１６に取り外した全ての部品を示す。

組み立て手順は以下の通りである。シリンダにロータとブレードを挿入する(図１７)。サイドプレートＡのシリンダ接合部全面にシリコンシーラントを塗りシリンダにボルトで固定する(図１８)。シリコンシーラントがシリンダ内にはみ出さないように注意する。作業台にポンプを置く(図１９)。ハウジングにライナを入れ、AC6205LLU ベアリングを挿入する。ベアリングが斜めにならないように注意しながら内輪に当てたパイプをハンマーで叩き挿入する(図２０)。紙のスペーサーとベアリング押さえを取り付ける。もう一方のベアリングを同じ要領ではめ込む。軸と内輪は締まりばめになっているが、僅かでも漏れを減らすため嵌合部にシリコンシーラントを盛りつける。シリコンシーラントが乾燥したらベアリング押さえを取り付ける(図２１)。

ドライポンプ本体が組み上がったらベースにモーターと同軸になるようにポンプを固定し、カップリングで結合する。冷却ファン、ファンカバーを取り付けてベアリングの交換作業は完了する。

図６．ドライポンプをベースから取り外す
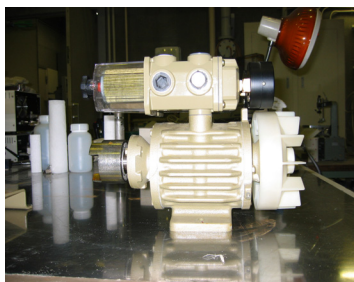
図７．ファンカバー取り外し

図８．冷却ファン取り外し

図９．ベアリング押さえを外す

図１０．爪に棒などを当て叩く

図１１．シリンダからサイドプレートＡを離す

図１２．ギヤプーラーをかけベアリングを外す
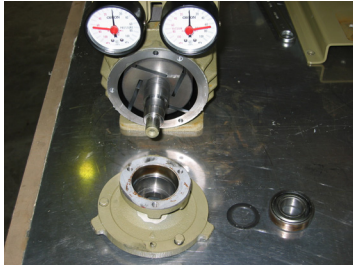
図１３．ベアリングとライナの抜き取り
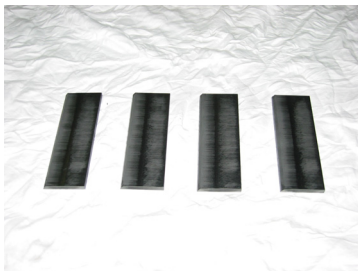
図１４．取り出したカーボンのブレード
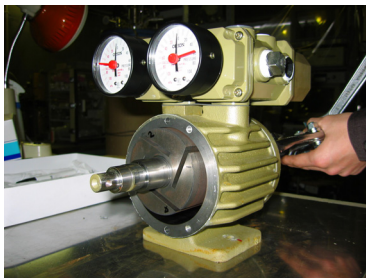
図１５．モーター側ベアリングの取り出し

図１６．分解したドライポンプ

図１７．シリンダにロータとブレードを挿入
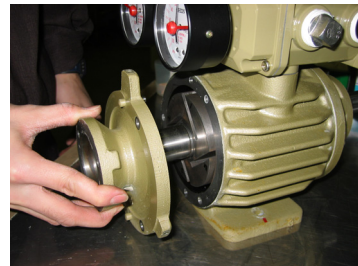
図１８．サイドプレートＡをシリンダに固定

図１９．作業台にポンプを置く

図２０．AC6205LLU ベアリングの挿入

図２１．ベアリング押さえの取り付け

４．結果と検討

ドライポンプにヘリウムガスボンベを接続して漏れテストを行った。本学のヘリウムガス回収用送風機は大気圧のガスバッグから吸入して低温センターへ２インチ回収配管でヘリウムガスを送る。したがって吸入圧と吐出圧は共に大気圧と大差ないので０.０１ＭＰａ(ゲージ圧)で調べた。運転中と停止中の漏れ量はともに小型ヘリウムガス漏れ検知器で検知可能な２x１０$^{-5}$ml/ sec 未満であった[5]。写真２２に示すように改良したドライポンプを一つのサブセンターに設置して試用したところ、ヘリウム回収率すなわち(液体換算の回収量)／(液体ヘリウム供給量)は９０％以上(ヘリウムトランスファー時の漏洩などユーザーによる各実験室内での損失を含む)となりヘリウムガス回収用送風機として使えることがわかった。

今回の改良が成功したのは運転中、停止中ともにドライポンプ内の気圧と大気圧との差が殆どなく、しかも連続運転しないという好条件に助けられたからであると我々は考えている。使用したドライポンプ自体は真空排気からゲージ圧６０ｋＰａの加圧まで可能だが、ポンプの内外で気圧がかなり異なる使用条件では別の対策が必要になると予想している。圧力差に加えて長時間連続運転する、環境温度が高い、あるいは吐出圧が高いなどポンプの温度が上昇する条件下ではシールに対する要求は更に厳しくなるであろう。

ヘリウムガス回収に使用すると何時間程度の運転で接触シール部から漏れが発生するか、そして液体ヘリウム減圧用をはじめとする他の用途に使うとどのような問題が発生するか今後調べていく予定である。

図２２．設置したドライポンプ

謝辞

本報告にあたり、ご指導ならびにご助言を頂いた低温センター長 瀧田宏樹教授、吉崎亮造教授、池田博講師、ベアリングに関する情報を頂いた古谷野有講師に感謝いたします。

参考文献

[1] オリオン機械株式会社 「オリオンドライポンプ取扱説明書」
[2] NTN 株式会社 「転がり軸受け総合カタログ」(CAT.NO. 2202-IV/J), B-5
[3] NTN 株式会社 「転がり軸受け総合カタログ」(CAT.NO. 2202-IV/J), B-10
[4] NTN 株式会社 「転がり軸受け総合カタログ」(CAT.NO. 2202-IV/J), B-7
[5] BOC Edwards 社 「ガスチェック 3000/3000is 取扱説明書」